

Esta técnica permite, mediante el uso de diferentes sensores, obtener información en tiempo real

Evolución de la viticultura de precisión a nivel internacional

Existen diversas definiciones para agricultura de precisión, siendo una de las más completas la citada por Cook and Bramley en 1998: «agricultura de precisión es el término dado a los métodos de gestión de cultivos que reconocen y gestionan las variaciones espacio-temporales en la parcela dentro del sistema suelo-planta-atmósfera». A esta definición se podría añadir que la agricultura de precisión se conceptualiza como un sistema enfocado a minimizar los inputs, mejorar la eficiencia y acercarse a una agricultura más sostenible. En este artículo se realiza una revisión sobre las técnicas más actuales en el campo de la viticultura de precisión.

Eva M. Báguena¹ y Pilar Barreiro².

⁽¹⁾ Ingeniero Agrónomo. ⁽²⁾ Catedrática de Universidad.

El concepto de agricultura de precisión (AP) surgió a finales de los años 80, siendo los países pioneros en su adopción EE.UU, Reino Unido y Aus-

tralia. La **figura 1** muestra el número de artículos de revisión científica y los países en los que han sido desarrollados dichos estudios sobre el estado del arte en temas de AP publicados desde el año 1996 hasta 2011, pudiéndose observar que a lo largo de los últimos quince años la investigación en este campo se ha extendido a nivel mundial.

El uso de técnicas de agricultura de precisión en viñedos, viticultura de precisión (VP), comenzó a finales de los años 90, principalmente en Australia. La aplicación de tecnologías de viticultura de precisión ofrece la posibilidad de entender mejor lo que sucede a nivel de planta. La inversión en los sistemas de viticultura de precisión puede venir justificada por diferentes razones. Las vides crecen en hileras con un marco de plantación fijo durante todo su ciclo de vida, por ello los puntos de muestreo pueden ser identificados con cada planta individualmente, siendo éstas, por lo tanto, georreferenciables (Arnó *et al.*, 2009). Dado que el marco de plantación permanece fijo a lo largo de los años, el histórico de datos puede ser comparado con el objetivo de analizar la variabilidad espacial existente en los distintos viñedos (Bramley, 2000).

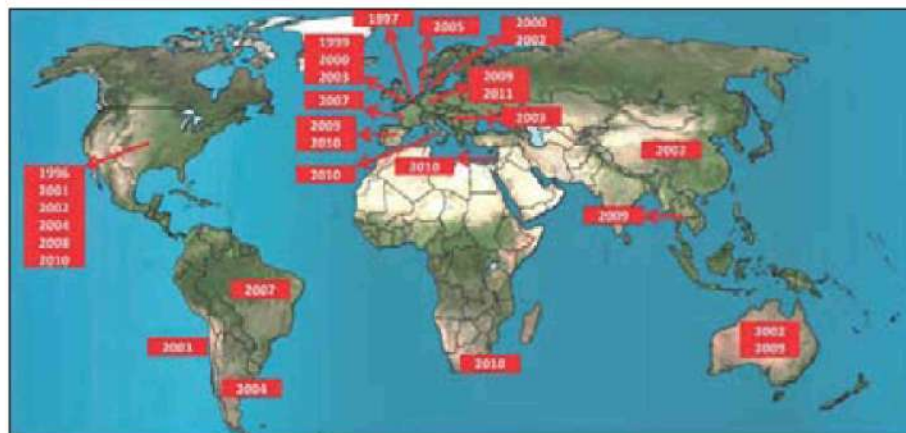
Otra razón para la adopción de sistemas de viticultura de precisión es el elevado valor añadido del producto final, cuyo precio varía de acuerdo con la calidad del mismo. Algunos autores han estimado que el coste de la viticultura de precisión sería del orden del 0,5% del valor de producción del cultivo. Por otro lado, a pesar de que el concepto de viticultura de precisión es relativamente nuevo, existen a día de hoy un amplio rango de herramientas disponibles para su desarrollo, como son GPS (Geographical Positioning Systems), GIS (Geographical Information Systems), monitores de rendimiento o sensores de medida de la calidad de la uva. Así pues, los beneficios de la adopción de la viticultura de precisión podrían demostrarse a dos niveles: para los viticultores, dado que mejora el uso de factores productivos, reduciendo costes y el impacto medioambiental; y para los bodegueros, ya que la viticultura de precisión permite mejorar la logística de la bodega al conocerse lo que está sucediendo en campo antes de la llegada de la uva a la bodega (Arnó *et al.*, 2009).



Monitor de rendimiento montado en un vendimiadora.

FIGURA 1.

Artículos de revisión sobre agricultura de precisión publicados en distintos años en diversos países.



Monitores de rendimiento y elaboración de mapas para viñedos

El desarrollo de sensores apropiados para medir diversos parámetros en distintos cultivos es esencial para el avance de la agricultura de precisión. El uso de sensores en cosechadoras de cereal ha sido el más desarrollado hasta el momento, si bien es cierto que la aplicación en otros cultivos como patata, remolacha, algodón, tomate o caña de azúcar, entre otros, se ha llevado a cabo en los últimos años. Durrance *et al.* (1999) definieron monitor de rendimiento

como la fase de la agricultura de precisión en la que la variación de rendimiento del cultivo dentro de una parcela es medida, espacialmente referenciada y mapeada. Por ello, el uso de monitores de rendimiento requiere una serie de herramientas como son los sensores de rendimiento (varían de acuerdo al cultivo en cuestión), GPS y sistemas de información geográfica.

El uso de monitores de rendimiento en viñedos comenzó en Francia y Australia a finales de los años 90, y posteriormente se ha extendido a otros países como Chile o España. La mecanización de los viñedos ha supuesto un gran avance para el desarrollo de

dichos monitores, ya que el elevado nivel de control y precisión que presentan las vendimiadoras permite la recolección de datos al tiempo que se realiza la vendimia, pudiendo ofrecer resultados en tiempo real de lo que se está cosechando.

Los sensores que se han utilizado hasta la actualidad en los monitores de rendimiento han sido principalmente células de carga localizadas en distintos puntos de la vendimiadora según su tipología de descarga (si bien es cierto que algunos sistemas como el HarvestMaster están compuestos por sensores de ultrasonidos que miden la altura de uva a su paso por la cinta transportadora). Uno de los primeros sistemas, Canlink, comercializado por la empresa australiana Farmscan, está compuesto por un conjunto de células de carga situadas en el brazo de descarga lateral de la máquina. Este sistema fue utilizado en uno de los primeros trabajos de monitorización de viñedos en España por Arnó *et al.*, (2005) para la elaboración de mapas de vendimia.

La multinacional Pellenc, especializada en la fabricación de maquinaria vitícola, patentó en 2001 un sistema de pesado en dinámico para vendimiadoras, donde las células de carga están ubicadas bajo la cinta transportadora que conduce a la uva hasta la tolva (**figura 3**). Este sistema fue probado en Francia por Tisseyre *et al.*, (2001) obteniéndose un coeficiente de determinación entre los datos de campo y de



Sistema de medida de sólidos solubles.



Vendimiadora con dispositivo GPS.

bodega de 0,99 para un fondo de escala de 8.000 kg.

Otro sistema de pesado, desarrollado más recientemente en España por Baguena *et al.*, (2009), consiste en la implementación de células de carga bajo la tolva de la vendimiadora, obteniéndose en este caso un peso acumulado y no instantáneo, como sucede en el resto de sistemas mencionados. El coeficiente de determinación obtenido al comparar los datos de campo y de bodega es 0,9985 para un fondo de escala de 55.000 kg.

Todos los sistemas mencionados, constan, además de los sensores de peso, de otra serie de dispositivos adicionales como GPS, que ofrecen datos de otros parámetros necesarios, como la posición de la máquina, que permiten calcular la producción para cada localización concreta de la parcela, y obtener así mapas de rendimiento de cada parcela.

Otra técnica que también se emplea en viticultura de precisión para la elaboración de mapas es la basada en sensores ópticos remotos, que permite una rápida descripción de la forma, el tamaño y el vigor de las cepas dentro de cada parcela. Uno de los mayores potenciales de esta técnica es que permite establecer relaciones entre dichos descriptores de la cubierta vegetal y el rendimiento y la calidad de la uva. La sensórica remota consiste en medir distintos parámetros en la superficie de la tierra utilizando imágenes de satélite o sensores montados a bordo de aviones (fotografía aérea digital).

A nivel de viñedos se han realizado distintos estudios sobre el uso de imágenes de satélite tanto multispectrales como hiperespectrales. El uso de las primeras ha permitido obtener, por ejemplo, índices como el NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) que permite caracterizar el desarrollo vegetativo de las plantas. Algunos autores han demostrado que este índice está relacionado con el contenido en antocianos y fenoles de la uva, el tamaño de las bayas y el rendimiento.

Una vez que se ha obtenido el NDVI, junto con datos obtenidos de un GPS y con un GIS, es posible elaborar mapas que puedan ser comparados con los obtenidos con los monitores colocados a bordo de la vendimiadora. Por otro lado, el uso de imágenes hiperespectrales puede ayudar a discriminar la cubierta vegetal del resto de elementos. Otro

estudio reciente ha demostrado que las imágenes de satélite permiten determinar características de los viñedos, como área, perímetro, orientación de las hileras o faltas de viñas dentro de las hileras.

Variabilidad espacio-temporal en los viñedos

Al igual que sucede en otros cultivos, los viñedos están afectados por una variabilidad espacio-temporal que depende de diversos factores, como pueden ser el suelo o la climatología. Hasta que se introdujera, hace algunos años, el concepto de gestión diferenciada de las parcelas en el contexto agrícola, los viñedos eran gestionados como unidades homogéneas. Algunos autores han estimado que el rango de variación intra-parcela en viñedos oscila entre 2 y 20 t/ha, al hablar en términos de rendimiento. Por ello quedaría más que justificada la identificación de zonas de calidad basadas en el uso de mapas obtenidos a través de monitores de rendimiento o sensores remotos. Estudios recientes apuntan que la identificación de dos zonas de calidad es suficiente a la hora de realizar una gestión diferenciada en los viñedos.

El uso de sistemas de soporte de decisiones puede incrementar la eficiencia de producción a través de varias fases (Tisseyre *et al.*, 2007):

- (1) La adquisición de datos espaciales es una herramienta que permite realizar di-

seños experimentales que tengan en cuenta la variabilidad espacial.

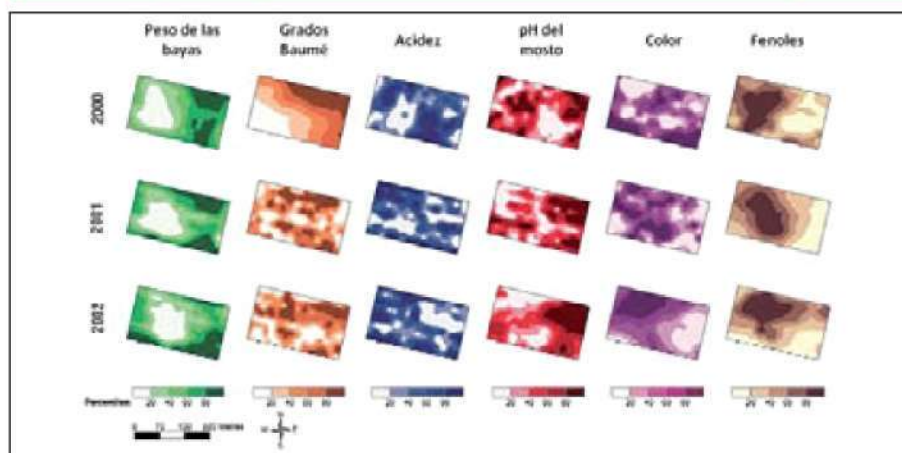
- (2) Con la recogida de información de producción es posible garantizar la trazabilidad del producto.
- (3) Varios criterios de gestión diferenciada pueden ser implementados para minimizar la variabilidad en rendimiento y/o calidad. Así pues, se han descrito distintas técnicas para realizar una gestión diferenciada por diversos autores entre las que cabe destacar la vendimia selectiva, la gestión diferenciada de la cubierta vegetal o tratamientos fitosanitarios diferenciados.

La variabilidad espacial existente en los viñedos se produce tanto en rendimiento como en parámetros de calidad. La **figura 2** muestra mapas de calidad de viñedos para distintos años donde la variación espacial puede ser observada para distintos parámetros de calidad como los grados Baume, el pH, el color o los fenoles.

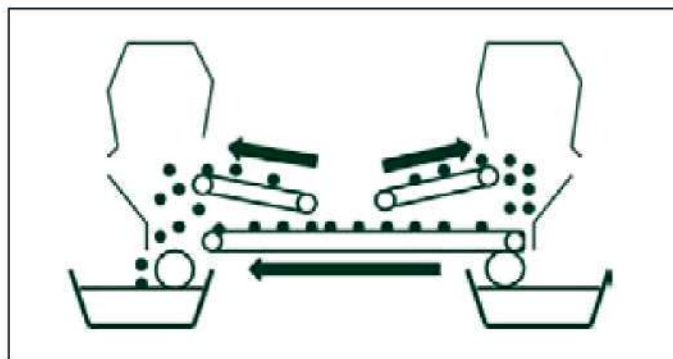
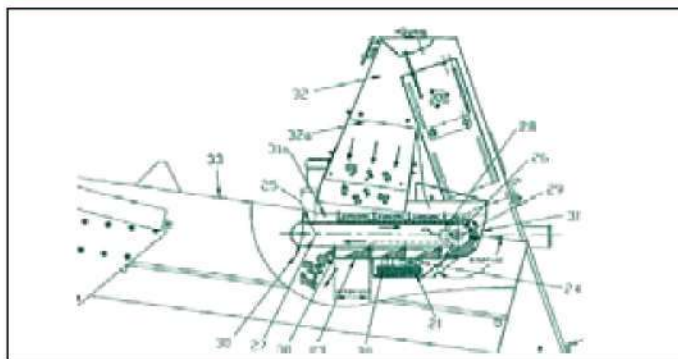
Tal y como se acaba de indicar en el texto, la variabilidad espacial en calidad existe en la mayoría de los viñedos. Bramley (2005) presentó un estudio en el que la variabilidad en calidad no es tan consistente en el tiempo (entre campañas) como en rendimiento y además no está correlacionada con la variabilidad espacial en rendimiento. Asimismo, concluyó que los factores que controlan la calidad son más complejos que los del rendimiento, por lo que es necesario el desarrollo de sensores para

FIGURA 2.

Variación espacial en algunos índices comunes de calidad de la uva (Bramley, 2005).



Sistema de pesado en dinámico patentado por Pellenc (izquierda) y sistema de vendimia selectiva patentado por New Holland (derecha).



medir dicha calidad a bordo de las vendimiadoras. A día de hoy no son muchos los estudios en relación a este tipo de sensores. Tisseyre *et al.*, (2001) presentaron un sistema en línea para medir el contenido en azúcares en uva por refractometría, si bien es cierto que dicho sistema no ha sido comercializado. Otro sistema para medir también el contenido en azúcares por refractometría a bordo de una vendimiadora fue desarrollado por Baguena *et al.*, (2009), obteniéndose datos para siete parcelas completas. Sin embargo, dicho sistema presentó una serie de problemas relacionados con el trasiego de mosto que deben ser resueltos para considerarlo fiable y preciso.

Vendimia selectiva

Uno de los principales objetivos de la viticultura de precisión es conseguir una vendimia selectiva de acuerdo a las diferencias en vigor, rendimiento o parámetros de calidad que presentan los viñedos. Diversos autores han demostrado el beneficio potencial que supone llevar a cabo una vendimia selectiva al obtener un producto final de elevado valor como es el vino. Debido al creciente interés en llevar a cabo este tipo de vendimia, las distintas multinacionales fabricantes de vendimiadoras han desarrollado varios dispositivos que permitan llevar a cabo dicha vendimia selectiva. Así, por ejemplo, en el caso de vendimiadoras con descarga lateral se ha propuesto que el brazo de descarga conste de una cinta transportadora bidireccional que envíe las uvas a dos remolques distintos

en función de la calidad. En el caso de vendimiadoras con descarga trasera, la marca New Holland ha patentado recientemente (Berthet *et al.*, 2010) un sistema que consiste en una estructura compuesta por varios elementos (**figura 4**): dos cintas transportadoras pequeñas (una para cada tolva) como las existentes en las vendimiadoras actuales y una cinta transportadora más grande con doble sentido, que cierra la caída a la tolva de la uva proveniente de una u otra cinta pequeña para llevarla a una tolva o a otra en función de los parámetros de vendimia que se le hayan introducido previamente al monitor de rendimiento.

El concepto *smart* en viticultura

El concepto de *smart sensing* (sensórica inteligente) está estrechamente relacionado con la viticultura de precisión. El avance en tecnologías de la información, sensores o sistemas de adquisición de datos están haciendo posible la monitorización en tiempo real de lo que sucede en el campo, tanto a nivel de planta como a nivel climatológico o de suelo. El uso de esta tecnología permite que el viticultor pueda entender mejor cuál es el impacto de las condiciones medioambientales en su cultivo y pueda tener un mejor control sobre el mismo.

Y no sólo se están realizando estudios a nivel de viñedo, sino a nivel de maquinaria, donde las propuestas más futuristas hablan de la introducción de robots o máquinas inteligentes que sean capaces de reemplazar

la maquinaria convencional existente. Richard Smart (2006) propuso en un estudio la idea de que las máquinas actuales podrían ser sustituidas por unidades de tamaño reducido con elementos robotizados que pudiesen realizar distintas tareas tales como la poda o el deshojado.

Conclusiones

A pesar de que la agricultura se ha considerado durante décadas como algo tradicional, el uso de nuevas tecnologías en este sector ha hecho que tanto los cultivos como la maquinaria agrícola adquieran un nivel tecnológico muy importante. El uso de distintos sensores permite obtener información en tiempo real de lo que está sucediendo en campo, pudiéndose tomar decisiones de forma rápida y precisa. Por otro lado, el uso de la información obtenida con dichos sensores junto con los sistemas de información geográfica permite la elaboración de mapas que pueden ayudar a estudiar de forma más general lo que sucede a nivel de parcela y establecer una gestión diferenciada de acuerdo con los resultados. Todo ello con el objetivo final de la viticultura de precisión: reducir costes, incrementar la eficiencia y conseguir una agricultura más sostenible. ●

Bibliografía ▼

Existe una amplia bibliografía que puede solicitar por correo electrónico: eva.baguena@upm.es